

Simulation und Herstellung von auxetischen Materialien im Multimaterialdruck mittels des Strangablegeverfahrens
Ansprechpartner: Dr.-Ing. Yanling Schneider

Zusammenfassung des Forschungsvorhabens „Simulation und Herstellung von auxetischen Materialien im Multimaterialdruck mittels des Strangablegeverfahrens“

Auxetische Materialien sind Materialien, die eine negative Querkontraktionszahl besitzen. Dies bewirkt, dass sie sich quer zu ihrer Zugrichtung ausdehnen und sich umgekehrt unter Druckbelastung zusammenziehen. Dieses beobachtete Verhalten wird durch eine regelmäßige innere Struktur des Materials erreicht. Solch ein Material wird daher auch Metamaterial genannt, da die Materialeigenschaften von den Eigenschaften des Materials aus dem es besteht abweichen. Aktuelle Untersuchungen zeigen, dass Materialien mit negativer Querkontraktionszahl sehr hohe Schwingungs- und auch gute akustische Absorptionseigenschaften aufweisen. Solche Strukturen sind daher optimal für Anwendungen zur Rauschunterdrückung, besitzen hohe Dämpfungseigenschaften und sind zur Kompensation von Stößen geeignet. Da diese Strukturen in der Regel sehr komplex sind, wird erst durch den Einsatz von additiven Fertigungsverfahren deren kostengünstige Herstellung ermöglicht. Mithilfe dieser Verarbeitungsverfahren können einfach und mit hoher Geschwindigkeit nahezu beliebige Geometrien erzeugt werden. Die Verwendung der Simulation sowohl des Strangablegeverfahrens (Prozesssimulation) als auch der auxetischen Strukturen (Bauteilsimulation) ermöglicht es zum einen, die Prozessparameter für einen stabilen Prozess im Vorfeld zu bestimmen und zum anderen, das auxetische Verhalten der gedruckten Bauteile bei Variation der Geometrie sowie der Materialien und deren Zusammensetzung vorherzusagen. Das hier beantragte Forschungsvorhaben hat das Ziel, das Strangablegeverfahren (Fused Deposition Modeling, FDM) für Kunststoffe zu verwenden, um zwei- und dreidimensionale Strukturen zu erzeugen, die auxetisches Verhalten aufweisen. Basis dieser Metamaterialien bildet ein maßgeschneidertes Material, das im Zuge des Forschungsvorhabens entwickelt werden soll. Zusätzlich dazu werden die Charakterisierung sowie die Messung der mechanischen Eigenschaften mit Hilfe der Kombination von mechanischen Werkstoffprüfmethoden mit der Digitalen Bildkorrelation am IKT durchgeführt.

Die numerische Simulation ist im Rahmen des Projektes am IMWF beheimatet ist. Im Fokus der Prozesssimulation liegt hierbei vor allem die Erhöhung der Bauteilqualität durch Verringerung des Verzugs bzw. der Eigenspannungen. Mit Hilfe der Bauteilsimulation werden nicht nur die Geometrieparameter identifiziert, die ein maximales auxetisches Verhalten zeigen, sondern auch durch Implementierung eines Schädigungsmodells sowie des Übertrags der Spannungsverteilung aus der Prozesssimulation in die Bauteilsimulation Einflüsse wie z.B. Lagendicke, Verfahrensweg oder Schichthaftung untersucht. Zusätzlich zur ausgewählten idealen geometrischen Form der umgekehrten Honigwabe werden Topologie-optimierte, auxetische Strukturen entwickelt. Dazu wird ein Topologie-Optimierungsalgorithmus zusammen mit dem Level-Set-Verfahren verwendet und die resultierende Struktur mit Hilfe des Strangablegeverfahrens hergestellt.

Abstract

Auxetic materials are such ones that have a negative Poisson's ratio. It causes the structure to expand transversely to the direction of tension and, conversely, to contract under compressive load. This observed behavior is achieved through a regular internal structure of the material. Therefore, such a material is also called a metamaterial since the properties differ from those of the material made from. Recent studies show that materials with a negative Poisson's ratio possess very high vibration and good acoustic absorption properties. Therefore, such structures are optimal for noise suppression applications, have high damping properties, and are suitable for shock compensation. Since these structures are usually very complex, their creation is firstly possible only through additive manufacturing processes with low cost for productions. With the help of these processing methods, almost any geometry can be created easily and with a high speed. Simulations of both the fused filament fabrication process (FFF, process simulation) and the auxetic structures (component simulation) makes it possible, on the one hand, to determine the process parameters for a stable process in advance and, on the other hand, to predict the auxetic behavior of the printed components with various geometries as well as the materials and their composition. This applied research project aims to use the fused deposition modeling (FDM) process for plastics to create two- and three-dimensional structures that exhibit auxetic behavior. The basis of these metamaterials is a tailor-made material, which will be developed during this research project. In addition, the characterization and the measurement of the mechanical properties using a combination of mechanical testing methods with digital image correlation will be carried out at the IKT.

The numerical simulation will be performed at the IMWF within the project's scope. The focus of the process simulation is primarily on increasing component quality by reducing warpage or residual stresses. With the help of the component simulation, not only are the geometry parameters identified that show a maximum auxetic behavior but also influences such as layer thickness, printing path, or layer adhesion are investigated by implementing a damage model and transferring the stress distribution from the process simulation to the component simulation. In addition to the selected ideal geometric shape of the inverse honeycomb structure, topology-optimized auxetic structures are developed. For this purpose, a topology optimization algorithm is used together with the level set method, and the resulted structure will be printed using the FFF method.

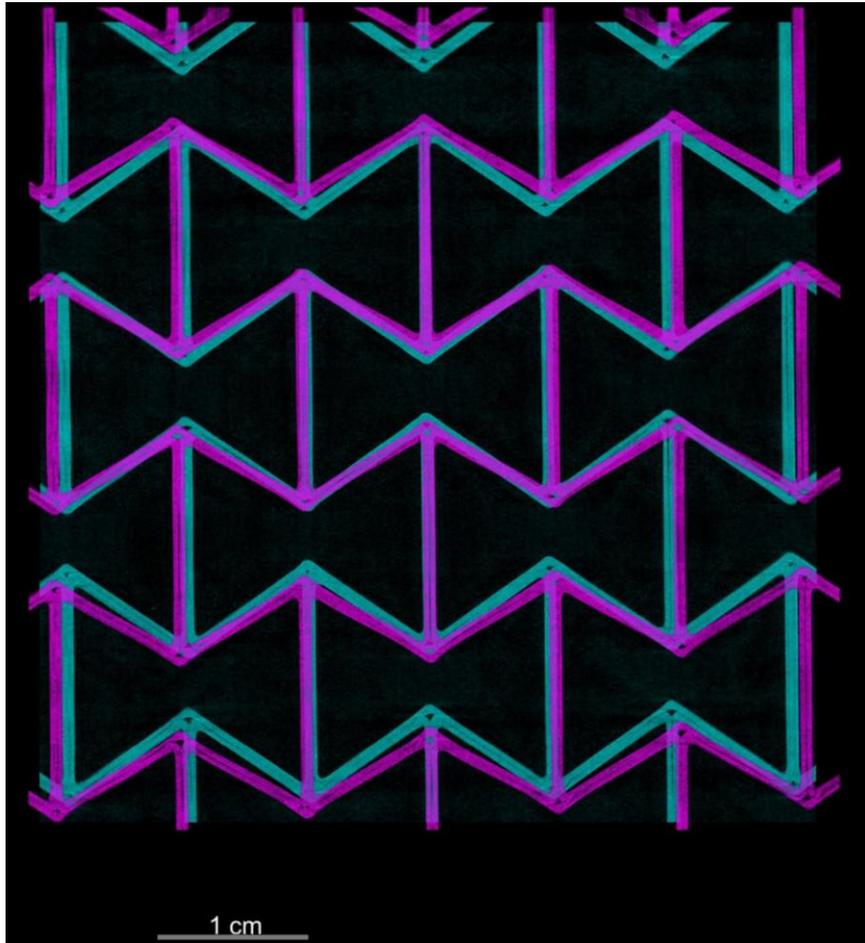


Fig. 1: In-situ tomography: overlay view of initial state (cyan) and at 4 mm (magenta) displacement for the PLA auxetic structure with 5x5 unit cells (inverse honey comb).

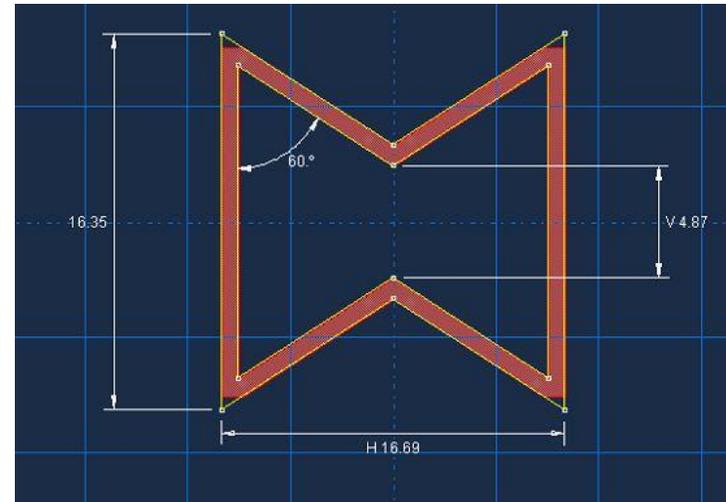
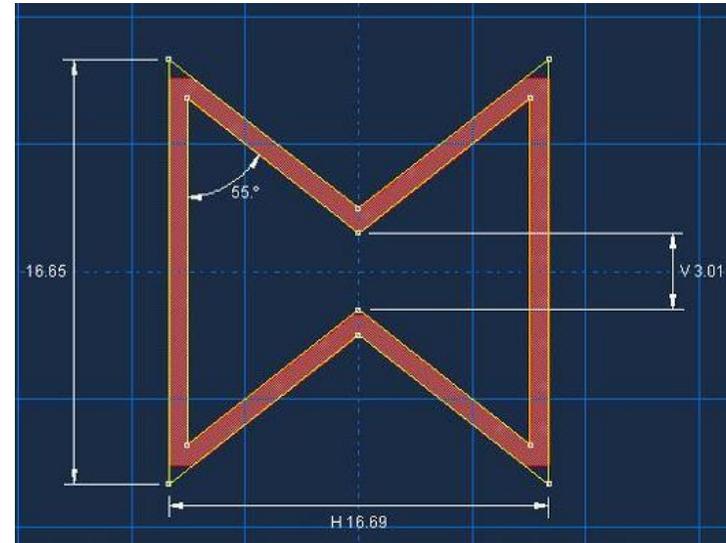


Fig. 2: Auxetic structure optimization with material independence: height : length=1.0 (upper) and height : length=1.1 (lower).

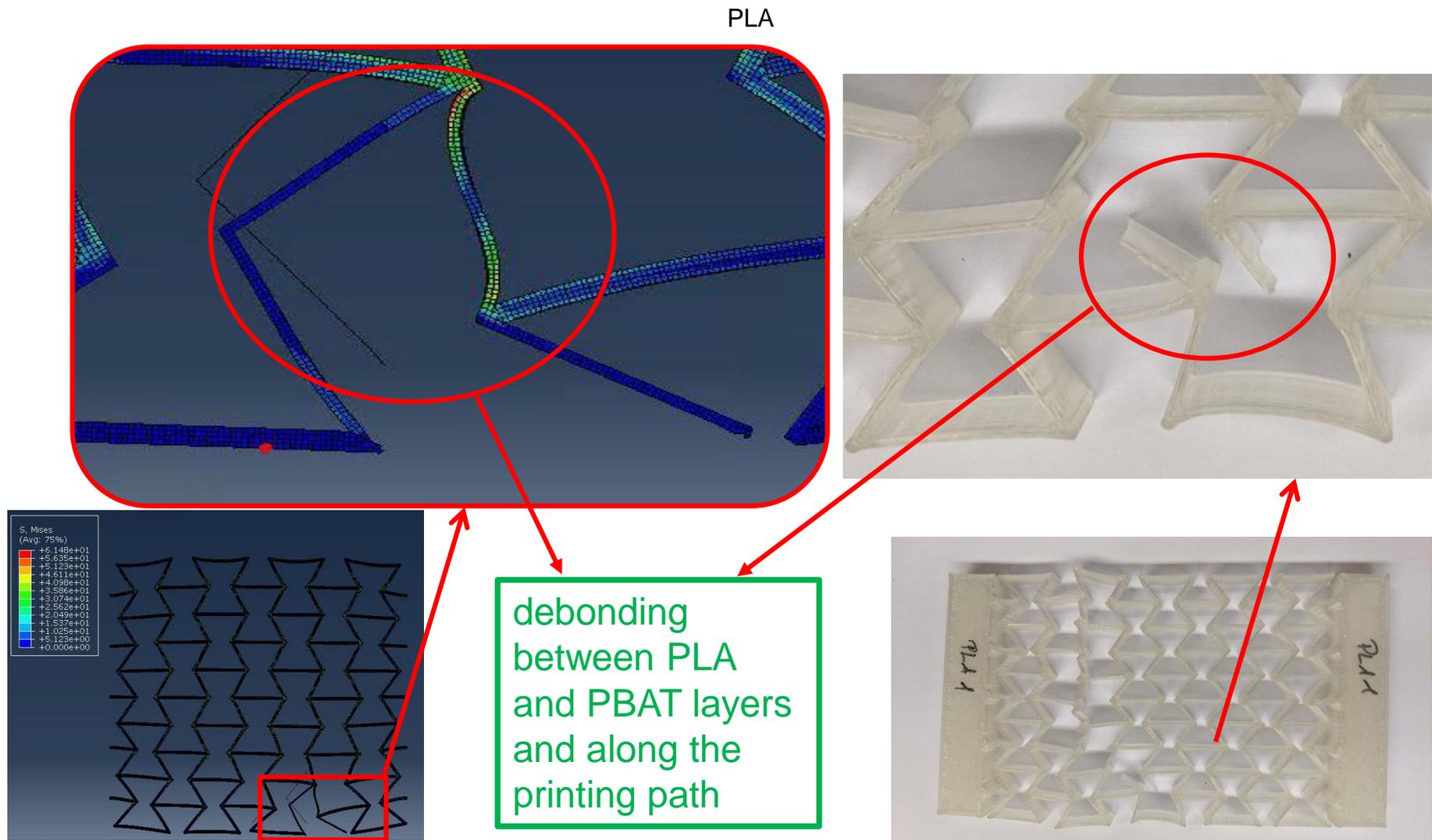


Fig. 3: Fracture comparison between experiment and simulation by using cohesive zone modeling.

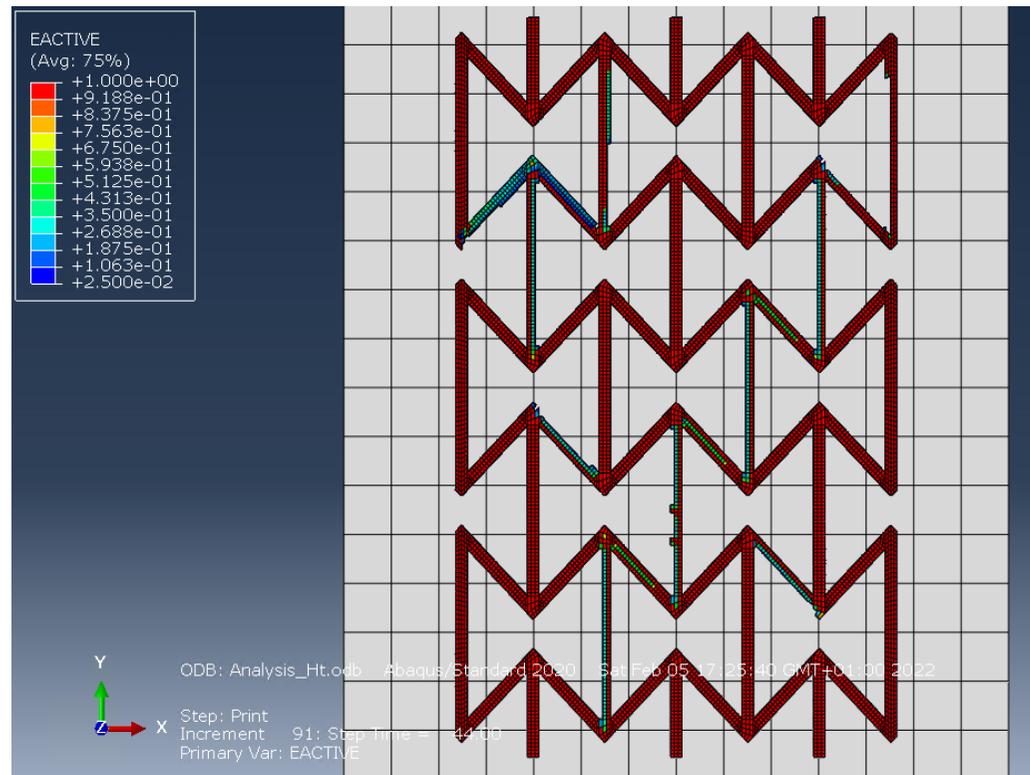


Fig. 4: Process simulation of the 3D-printing process for the auxetic structure by applying an ABAQUS-Plug-in (intermediate result).